

研究部会紹介

キンク研究部会

The sectional meeting on kink deformation and strengthening

河村 能人

Yoshihito KAWAMURA

1. 研究部会の発足の背景と目的

材料強化法には、固溶強化、加工強化、析出強化、分散強化、結晶粒微細化強化があり、転位論を用いて説明されてきた。2001年に高強度と高耐熱性を併せもつ長周期積層構造(LPSO)型マグネシウム合金(LPSO相と α -Mg相の二相合金)が開発され¹⁾、そのLPSO相がキンク変形して強化することが日本で見出された(図1)^{2),3)}。キンク変形はhcp構造をもつZnやCd単結晶の圧縮試験などですで見出されており⁴⁾、また、セラミックスのMAX相もキンク変形によってひずみが緩和されて塑性変形能をもつことも見出されていたが⁵⁾、キンク変形によって強化されるという現象がLPSO型マグネシウム合金によって初めて発見されたのである。

キンク強化するLPSO構造の本質は、 $L1_2$ クラスターが配列した4原子層からなる硬質なクラスター配列層(CAL)と1~4原子層の軟質なMg層が周期的に積層したナノスケールの硬質/軟質層状構造であるということである(図2)⁶⁾。そこで、この硬質/軟質層状構造を、硬いパイ生地層と柔らかいクリーム層が積層した層状構造をもつミルフィーユ菓子に因んで(図3)、ミルフィーユ構造(MFS)と命名した。

2019~2022年度に実施した「LPSO/MFS構造材料研究部会」では、マグネシウム合金、アルミニウム合金、チタン合金を対象に、LPSO構造やMFS構造をもつ新しい軽金属物質の創製とキンク強化を試みることによって、「LPSO/MFS構造のキンク強化法」の軽金属材料への展開を試みた。その結果、CAL層の間隔がLPSO構造の10倍以上の疎な硬質/軟質ナノ層状構造をもつMFS型 α -Mg単相材が開発され、疎なMFS構造でもキンク強化することが明らかにされた(図4、図5)^{7),8)}。さらに、共晶型のアルミニウム合金ならびにチタン合金においてもマイクロスケールのMFS構造をもつ物質が見出され^{9),10)}、キンク強化することが明らかになった。

一般的に、新しい現象を発見したのみでは業績としては認められず、新しい現象の発見と理論の確立が揃ってはじめて業績として認められる。このため、キンク強化を初めて見出した日本において、キンク強化理論を構築することが重要である。そこで、キンク強化する材料の創製をさらに推進するとともにキンクの形成と強化メカニズムを解明してキンク強化理論を構築することを目的に、「LPSO/MFS構造材料研究部会」を引き継ぐかたちで、キンク強化に的を絞った「キンク研究部会」を立ち上げた。

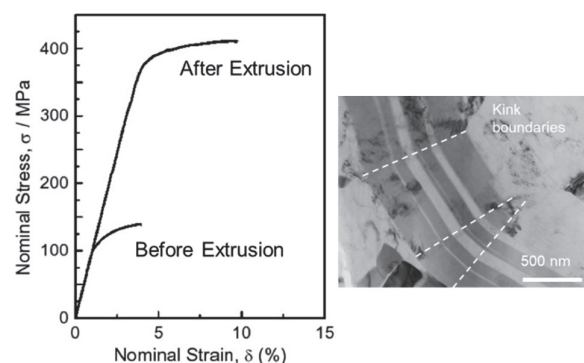


図1 LPSO型Mg-1Zn-2Y合金の公称応力-ひずみ曲線と押出材におけるLPSO相のキンク変形^{2),3)}

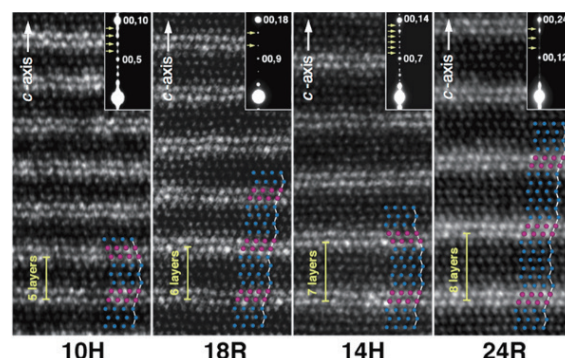
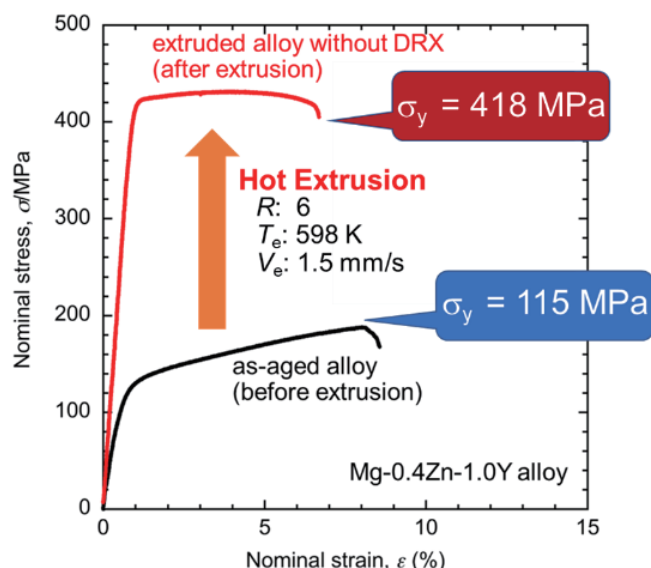
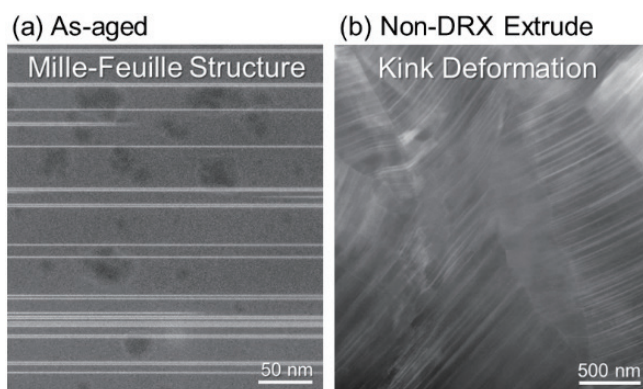


図2 LPSO構造における硬質なクラスター配列層(CAL)と軟質なMg層のナノ層状構造⁶⁾



図3 ミルフィーユ菓子

図4 MFS構造单相材の公称応力-ひずみ曲線¹⁰⁾図5 MFS構造とその押出材のキンク変形^{9), 10)}

2. 部会構成

2024年度末時点の研究部会は、表1に示すように、19大学、3研究機関、2企業からの39名がメンバーとなっており、金属・セラミックス・高分子材料のモノづくり、力学試験、組織・構造解析、計算科学、力学理論を専門とする研究者・技術者で構成されている。部会長は熊本大学の河村 能人が、副部会長は大阪大学の垂水 竜一教授が、そして幹事は東京科学大学の稲邑 朋也教授が務めており、事務局は熊本大学先進マグネシウム国際研究センター内に設置されている。

3. 活動内容

本研究部会では、以下の研究内容を実施している。

- ①軽金属材料を対象に、キンク強化するMFS構造物質の創製を試みる。
 - ②実験・観察・計算科学の面から、キンク形成メカニズムの解明を試みる。
 - ③実験・観察・計算科学の面から、キンク強化メカニズムの解明を試みる。
 - ④年間3回の研究部会の開催を実施するとともに、春期大会にセッションを設けることによって議論を深める。
 - ⑤上記の結果を基に、キンク強化理論の構築を試みる。
- 上記の研究内容を効果的に進めるとともに、研究成果を広

表1 キンク研究部会のメンバー (2025年5月現在)

氏名	所属	氏名	所属
垂水竜一	大阪大学	稲邑朋也	東京科学大学
阿部英司	東京大学	藤居俊之	東京科学大学
江草大佑	東京大学	萩原幸司	名古屋工業大学
吉田英弘	東京大学	河村能人	熊本大学
増田紘士	東京大学	A. Vinogradov	熊本大学
奥田浩司	京都大学	眞山 剛	熊本大学
君塚 肇	名古屋大学	山崎倫昭	熊本大学
中島英治	九州大学	井上晋一	熊本大学
光原昌寿	九州大学	寺田大将	千葉工業大学
C. Pierluigi	九州大学	石川和宏	金沢大学
三浦誠司	北海道大学	戸高義一	豊橋技術科学大学
安藤大輔	東北大学	徳永辰也	九州工業大学
相澤一也	JAEA	鈴木真由美	富山県立大学
板倉充洋	JAEA	湯浅元仁	同志社大学
W. Gong	JAEA	只野祐一	佐賀大学
S. Harjo	JAEA	斎藤 拓	東京農工大学
上根真之	JASRI	伊藤浩志	山形大学
R. Kumara	JASRI	石田峰央	福田金属箔粉工業(株)
染川英俊	NIMS	津田泰志	東邦金属(株)
江村 聡	NIMS		(順不同)

く公開するために、以下のような計画の下で活動している。

- ①研究部会の開催 (年3回)
- ②講演大会テーマセッションの開催 (年1回)
- ③LPSO/MFS関連の国際会議の開催 (2年目・4年目)
- ④活動報告書の作成 (5年目)
- ⑤シンポジウムの開催 (4年目もしくは5年目)
- ⑥会誌「軽金属」の特集の企画 (4年目もしくは5年目)

4. 今後の展望

2025年7月にフランスで開催される THERMEC'2025と2025年12月に横浜で開催されるMRM2025において、LPSO・MFS構造やキンク強化に関するセッションが開催される予定である。本研究部会によって、キンク強化現象を見出した日本がキンク強化に関する研究で確固たる地位を築くことができるものと期待できる。

参考文献

- 1) Y. Kawamura, K. Hayashi, A. Inoue and T. Masumoto: Mater. Trans., **42** (2001), 1172-1176.
- 2) Y. Kawamura and S. Yoshimoto: Magnesium Technology 2005, ed. H. I. Kaplan (Warrendale, PA: TMS, 2005), 499-502.
- 3) S. Yoshimoto, M. Yamasaki and Y. Kawamura: Mater. Trans., **47** (2006), 959-965.
- 4) E. Orowan: Nature, **149** (1942), 643-644.
- 5) M. W. Barsoum, L. Farber, T. El-Raghy: Metall. Mater. Trans. A, **30** (1999), 1727-1738.
- 6) E. Abe, A. Ono, T. Itoi, M. Yamasaki and Y. Kawamura: Philos. Mag. Lett., **91** (2011), 690-696.
- 7) K. Hagihara, T. Tokunaga, K. Nishiura, S. Uemichi and S. Ohsawa: Mater. Sci. Eng., A **825** (2021), 141849.
- 8) S. Emura and X. Ji: Mater. Trans., **61** (2020), 856-861.
- 9) Y. Kawamura, H. Yamagata, S. I. Inoue, T. Kiguchi and K. Chattopadhyay: J. Alloy. Compd., **939** (2023), 168607.
- 10) Y. Kawamura, R. Tsuchiyama, A. Yoshida, N. Ifuku, S. I. Inoue and A. Vinogradov: J. Alloy. Compd., **1012** (2025), 178454.